

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 農 学 )	氏名	立 石 卓 彦
論文題目	三次元地下水流動解析による浸透抑制工および取水施設の構造決定に関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>複雑な水理地質構造を有する地山の三次元的な地下水流動や塩分移流分散現象を精度良く予測することは、農業水利施設の計画・設計を行う上で重要な要因である。例えば、農業用ダムの貯留性が求められるリムグラウチング施工長の計画や、島嶼地区の地下帯水層上にある淡水レンズからの取水施設の計画・設計では、三次元地下水流動特性と施設が与える影響を詳細に把握することが求められる。従来このような現象に対して、実用的には鉛直あるいは平面二次元流れを基本とした浸透流解析や移流分散解析が用いられてきた。しかし、施設の合理的な計画・設計を行う上で、施設周りの地下水流れは本来、三次元的である場合が多く、三次元現象として流速、流量や密度変化を考慮した塩分濃度の移流分散を定量的に評価する必要性は大きい。</p> <p>本論文は、三次元地下水流動を基本として、リムグラウチング施工に伴う流速や浸透量の定量的評価による合理的な施工長の決定方法、ならびに島嶼地区の地下帯水層浅層部の淡水レンズにおける合理的な井戸構造の決定方法の提案を目的とする。本論文は全7章で構成される。第1章では問題背景や研究目的を述べる。第2章ではリムグラウチング施工長の決定の既往手法、研究に関するレビューを行い、地下水位が低い貯水池地山のリムグラウチングに対する三次元地下水流動解析の必要性を示す。第3章では三次元飽和不飽和浸透流解析を適用し、リムグラウチング施工による地下水位の堰上げ、迂回流に着目した浸透量による定量的な施工長の評価方法を提案する。第4章では三次元飽和不飽和浸透流解析を実ダムおよび実規模の仮想モデルに適用し、提案方法の妥当性を検証する。第5章では島嶼地区の地下帯水層上の淡水レンズにおける取水技術の現状と、井戸構造の検討における塩分濃度の三次元移流分散解析の必要性および数値解析上の課題と対応について述べ、集水横孔やスクリーン部の配置に着目した合理的な集水井構造の評価方法を提案する。第6章では、現地取水試験結果による三次元移流分散解析の検証と同定したパラメータを用い、複数の条件下で提案方法により合理的な集水井構造を検証する。最後に、第7章では本論文の総括ならびに今後の展望を示す。</p> <p>本論文における主要な研究成果は、リムグラウチング施工長の評価、ならびに島嶼地区地下帯水層の淡水レンズにおける合理的な井戸構造の決定方法について、次の5点に要約される。</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. リムグラウチング施工長の評価に適用する三次元飽和不飽和浸透流有限要素法解析につき、複雑な水理地質構造を有する実ダムの貯水池周辺地山を対象として、湛水前の地下水位観測値をもとに降雨涵養量を考慮したキャリブレーションを行い、その再現精度の妥当性を検証した。</li><li>2. リムグラウチング施工長の評価について、農業用ダムの貯留機能を重要視する観点から、リムグラウチングラインの浸透量に着目した評価方法を提案した。グラウチング施工による貯水池地下水位の堰上げとグラウチング先端部における迂回流、地山の高透水部に着目し、グラウチング延長による浸透量の低減効果と、迂回流や高透水部の存在による浸透量の増加のトレードオフにより有効</li></ol>			

な施工長を評価した。とくに、浸透量の増減とグラウチング周りの迂回流現象を関連づけ、可視化手法によりそのメカニズムを明らかにするとともに、浸透量抑制効果への寄与を区分できる点に特質を有することを示した。実際の貯水池地山の地下水位が低いダムや実規模の仮想モデルに適用して、提案方法の妥当性を検証した。その結果、リムグラウチング開始点から浸透量抑制効果が効率的に発揮される限界点までを施工長とすることにより、合理的な施工長を評価できることを示した。

3. 島嶼地区の地下帯水層の淡水レンズにおける合理的な井戸構造の決定に、塩分濃度による密度変化を考慮したオイラー法による三次元移流分散解析法を適用した。とくに、移流分散で課題となる移流項の数値振動に対して、SUPG (Streamline Upwind/Petrov Galerkin) 法を適用することにより解の安定化を図った。また、並列処理による演算高速化により三次元の非定常解析に対応した。提案した解析手法を用い、集水井による現地取水試験結果の再現を行うことで、その実用性を明らかにした。
4. 湛水レンズにおいて塩水の引き込みを抑制する合理的な集水井構造を検討するために、塩水アップコーンの上昇に係る集水横孔と取水部の配置間隔に着目し、これらを変えた取水解析による評価方法を提案した。すなわち、取水解析で用いる集水井横孔の一次元線要素モデル化において、実際には非ダルシー流れである切欠きを有する横孔管内の流速、圧力を三次元流体解析で求めた。ついで、それらの管軸方向分布を近似する浸透流解析により一次元線要素モデルの等価透水係数を求め、横孔管周辺の流れの精度向上を図った。
5. 提案方法を適用して集水横孔やスクリーン部の配置間隔や取水量を体系的に変えた取水解析を行い、塩水の引き込みを抑制する集水井構造を合理的に決定できることを示した。また、取水横孔設置標高の水平面断面における塩水アップコーン断面の塩分濃度コンターやその三次元形状の可視化により、集水横孔やスクリーン部の配置間隔による塩水アップコーンの上昇と汲み上げ水の塩分濃度を関連付けることで、塩水引き込みのメカニズムを明らかにした。

以上の2つの提案方法は、いずれも三次元数値解析およびその可視化を基本として組み立てられ、実務における施設周りの地下水流動や塩分移流分散現象の予測精度を向上させ、水利構造物に対して有用かつ合理的な計画・設計を可能とした。

注)論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(論文審査の結果の要旨)

本論文では、水利構造物の浸透抑制工や淡水～塩水域における取水施設の計画・設計について、三次元的地下水流動やそれに伴う塩分濃度の変化を定量的に評価した対策を講じることを目的とする2つの方法を提案した。一つは、水利構造物のリムグラウチング施工に伴う地下水流速や浸透量を定量的に評価して有効な施工長を決定する方法である。他方は、島嶼地区地下帯水層の淡水レンズにおける取水時の塩分濃度変化を定量的に評価して適切な井戸構造を決定する方法である。両者は実務設計に取り入れられ、その有用性が検証された。評価できる点は以下のとおりである。

1. リムグラウチング施工長を変えた施工による浸透量低減と、地下水位の堰上げや迂回流による浸透量増加の関係を定量的に評価し、効率的な施工長を決定した。この方法はリムグラウチングラインを細分化して施工延長による区間毎の浸透量の増減とグラウチング周りの流れの特性を関連づけ、可視化手法によりそのメカニズムを明らかにするとともに、浸透量抑制効果への寄与を区分できる点に特質を有する。
2. 三次元密度流移流分散有限要素解析により、淡水レンズに設置した集水井において、集水横孔と取水部の配置間隔を変えた取水解析を行い、淡水取水可能な井戸構造を定量的に評価した。また、取水横孔設置標高の水平面断面における塩水アップコーン断面の塩分濃度コンターやその三次元形状の可視化により、集水横孔やスクリーン部の配置間隔による塩水アップコーンの上昇と汲み上げ水の塩分濃度を関連付け、塩水引き込みのメカニズムを明らかにした。
3. 地山地下水位が低い水利構造物の止水施設周りの地下水流れや、淡水レンズの集水井による取水時の塩水錐など、実務における複雑な水理地質構造や三次元的施設構造を反映した解析法および評価法を提案し、挙動の予測精度向上を可能とした。この成果に基づいた農業水利施設構造の合理的設計は、地下水貯留機能の向上や淡水取水量の確保に寄与する。

以上のように、本論文は水利構造物の計画・設計における地下水流動や物質移動現象に対処するため、三次元有限要素法による浸透流および移流分散解析とその可視化を基本とする評価手法を構成し、複雑な水理地質構造や三次元的な施設構造について合理的な設計法を提案したものであり、施設機能工学並びに水利構造物の設計、管理・保全の実務に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成28年2月9日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

注) 論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。

ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降（学位授与日から3ヶ月以内）